

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

**HSE-DATAN KÄYTTÖ OSANA NESTEEN JALOSTAMOI-  
DEN VUOTOJENTORJUNTAOHJELMAA**  
**Utilizing HSE-data as Part of Neste Refineries' Leakage Preven-  
tion Programme**

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, Ville Uusitalo  
Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, Katariina Koistinen

Lappeenrannassa 24.9.2018

Aleksi Laurila

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Alexi Laurila

### **HSE-datan käyttö osana Nesteen jalostamoiden vuotojentorjuntaohjelmaa**

Kandidaatintyö

2018

39 sivua, 4 taulukkoa ja 1 kuva

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, Ville Uusitalo

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, Katariina Koistinen

Työn ohjaaja: Ympäristöinsinööri, Neste, Juuli Jokinen

Työn ohjaaja: Risk Manager, Neste, Kai Larnimaa

Hakusanat: vuoto, poikkeama, öljynjalostus, Neste  
Keywords: leak, anomaly, oil refining, Neste

Tämän työn tavoitteena on tuottaa tutkitun turvallisuus- ja ympäristötiedon (HSE-data, Health Safety and Environment-data) pohjalta analyysia ja toimenpide-ehdotuksia koskien Nesteen jalostamoilla sattuneita öljy- ja kemikaalivuotoja sekä muita poikkeamatapauksia. Tiedon tutkimisen kannalta on tärkeää myös ymmärtää öljyn ja uusiutuvan dieselin jalostukseen liittyvät prosessit. Vuodot ja poikkeamat sijoittuvat jalostusprosessiin, johon kuuluu useita vaiheita raaka-aineiden vastaanotosta monien välivaiheiden jälkeen valmiiksi tuotteiksi ja edelleen jakeluun. Vuotoja tai poikkeamia on mahdollista sattua prosessin eri vaiheissa.

Sattuneet vuodot ja muut poikkeamat voivat olla seurausta laitteiston viasta tai työntekijän inhimillisestä virheestä eli väärästä toimintatavasta. Vuosien 2016–2018 aikana Nesteen jalostamoilla, liikenneasemilla ja eri sijainneissa ulkomailla on sattunut yhteensä 44 viranomaisille ilmoitettua tapausta. Tapaukset luokitellaan sijainnin mukaan ja tunnistetaan lisäksi tapauksen taustalla ollut syy. Näistä yli puolet sijoittuu Porvoon jalostamolle, mutta tapauksia esiintyy myös Naantalissa ja Rotterdamin jalostamoilla, Nesteen liikenneasemilla sekä muissa sijainneissa ulkomailla. Porvoossa tapaukset ovat pääsääntöisesti laitteiston viasta aiheutuneita, kun muualla jako laitteiston viasta ja väärästä toiminnasta aiheutuviin tapauksiin ei ole yhtä selvä. Porvoon jalostamolla päähuomio kiinnittyykin laitteiston kunnon määrittämiseen erityisesti sataman VRU-yksikön ja säiliöalueen pumppaamoiden osalta. Muissa sijainneissa tulee keskittyä työn ohjeistukseen ja valvontaan yhdistettynä laitteiston kunnon arviointiin.

## SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO .....	3
1 JOHDANTO .....	4
1.1 Nesteen jalostamot .....	5
1.1.1 Suomessa sijaitsevat jalostamot .....	5
1.1.2 Rotterdamin ja Singaporen jalostamot .....	5
2 ÖLJYNJALOSTUSPROSESSIN ELINKAARI .....	6
2.1 Elinkaaren vaiheet öljynjalostuksessa .....	6
2.2 Raakaöljyn vastaanotto jalostamolla .....	7
2.3 Öljynjalostusprosessi .....	7
2.3.1 Suolanpoisto .....	8
2.3.2 Tislaus .....	8
2.3.3 Krakkaus .....	8
2.3.4 Reformointi .....	10
2.3.5 Alkylointi .....	10
2.3.6 Rikinpoisto .....	11
2.3.7 Oksygenaattien valmistus .....	11
2.3.8 Aromaattinen hydraus .....	11
2.4 Valmiiden tuotteiden varastointi ja jakelu .....	12
3 UUSIUTUVAN DIESELIN JALOSTUKSEN ELINKAARI .....	13
3.1 Raaka-aineiden vastaanotto .....	13
3.2 Uusiutuvan dieselin jalostusprosessi .....	13
3.3 Valmiiden tuotteiden varastointi ja jakelu .....	14
4 ÖLJYN JA UUSIUTUVAN DIESELIN JALOSTUKSEN ELINKAAREN PÄÄSTÖT .....	15
4.1 Ilmaan aiheutuvat päästöt .....	15
4.2 Maaperään aiheutuvat päästöt .....	16
4.3 Vesistöihin aiheutuvat päästöt .....	16
5 HÄIRIÖTILANTEIDEN TUNNISTAMISEEN KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT .....	18
5.1 Häiriötilanteiden tunnistaminen ISO 14001-standardissa .....	18
5.2 Puumenetelmät .....	18
5.2.1 Vikapuuanalyysi .....	19
5.2.2 Tapahtumapuuanalyysi .....	19
5.3 Poikkeamatarkastelu, HAZOP .....	20
5.4 Toimintovirheanalyysi .....	20
6 CASE NESTE: NESTEEN VIRANOMAISILLE ILMOITTAMAT VUODOT JA MUUT POIKKEAMAT .....	22
6.1 Viranomaisille ilmoitetut vuodot ja muut poikkeamat .....	22
6.1.1 Vuodot ja muut poikkeamat Porvoon jalostamolla .....	23

6.1.2	Vuodot ja muut poikkeamat Naantalin jalostamolla .....	26
6.1.3	Vuodot ja muut poikkeamat Nesteen liikenneasemilla .....	27
6.1.4	Vuodot ja muut poikkeamat Rotterdamin jalostamolla.....	27
6.1.5	Vuodot ja muut poikkeamat muissa sijainneissa.....	28
6.2	Nesteen jalostamoilta ja niiden läheisyydestä kootut ilmoitukset.....	28
6.3	Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien vuotoja ja muita poikkeamia.....	30
6.3.1	Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien Porvoon jalostamoa.....	30
6.3.2	Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien Naantalin jalostamoa.....	33
6.3.3	Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien liikenneasemia.....	34
6.3.4	Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien Rotterdamin jalostamoa .....	35
7	YHTEENVETO.....	36
	LÄHDELUETTELO .....	38

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Symbolit

°C celsius

### Lyhenteet

ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristö
FCC	leijukatalyyttinen krakkaus - Fluid Catalytic Cracking
HAZOP	poikkeamatarkastelu - Hazard and Operability Study
HVO	uusiutuva diesel - Hydrotreated Vegetable Oil
HSE	terveys, ympäristö ja turvallisuus – Health, Safety and Environment
IBC	Intermediate Bulk Container
ISO	International Organization for Standardization
MTBE	metyyli-tert-butyylieetteri
PAH	polysyklinen aromaattinen hiilivety
PI	putkitus- ja instrumentointi
OW	öljyinen vesi - Oily Water
RTO	rikin talteenotto
TAME	tert-amyyli-metyylieetteri
VOC	haihtuva orgaaninen yhdiste - Volatile Organic Compound
VRU	lastaushöyryn talteenottoyksikkö - Vapour Recovery Unit

### Alkuaineet ja yhdisteet

CO	hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
NO <sub>x</sub>	typen oksidi
SO <sub>x</sub>	rikin oksidi

# 1 JOHDANTO

Prosessiteollisuudessa voi esiintyä erilaisia vuotoja ja poikkeamia. Nämä liittyvät usein laitteiston vikoihin tai ne voivat olla seurausta työntekijöiden huolimattomuudesta. Vuodot ja muut prosessin normaalia toimintaa häiritsevät poikkeamat aiheuttavat esimerkiksi taloudellisia menetyksiä, jos prosessi joudutaan keskeyttämään tai sen raaka-aineita menee hukkaan. Samalla riskinä ovat myös päästöt ympäristöön. Näiden haittavaikutusten ehkäisemiseksi ja minimoimiseksi tulee prosessia kehittää tutkimalla siinä esiintyviä poikkeamia.

Tämä kandidaatintyö tehdään Nesteelle koskien HSE-datan (Health, Safety and Environment-data) käyttöä osana Porvoon, Naantalın, Rotterdamın sekä Singaporen jalostamoiden vuotojontorjuntaohjelmaa. Työ paneutuu vuosien 2016-2018 ajalta tilastoituihin vuoto- ja poikkeamatapauksiin ja näiden tapausten välisiin yhteyksiin. Työn teoriaosassa perehdytään öljynjalostusprosessin elinkaareen ja elinkaaren eri vaiheissa syntyviin päästöihin. Päästöt eritellään ilmaan, maaperään ja vesistöön. Tarkoituksena on tunnistaa jalostamon tasolla erilaiset elinkaaren vaiheet prosessin raaka-aineiden vastaanotosta itse jalostusprosessiin, ja edelleen valmiiden tuotteiden jakeluun. Lisäksi teoriaosassa tutustutaan erilaisiin häiriötilanteiden tunnistusmenetelmiin, jotka soveltuvat vuotojen ja muiden poikkeamien hillitsemiseen ja ehkäisemiseen.

Työn Case-osassa perehdytään kerättyyn HSE-dataan vuotojen ja muiden poikkeamatilanteiden osalta. Lisäksi käsittelyssä ovat jalostamoiden lähialueelta tehdyt valitukset melusta tai hajusta. HSE-data on kerätty Excel-taulukoihin, joista tiedon analysointi suoritetaan. Nämä tapaukset luokitellaan ensin niiden esiintymispaikan mukaan. Sijainnin osalta tunnistetaan sekä jalostamo, jossa tapaus on sattunut että tarkempi sijainti jalostamolla. Tämän jälkeen tapaukset luokitellaan vielä edelleen sen perusteella, onko niiden taustalla jokin mekaaninen laitteiston vika vai väärä toimintamalli, joka voidaan mahdollisesti korjata ympäristöjohtamisen keinoin. Kyse on siis jo olemassa olevan tiedon luokittelusta ja kokoamisesta analysoinnin kannalta sopivaan muotoon. Työn tavoitteena on tutkitun ja luokitellun datan perusteella antaa suositus toimenpiteistä, joilla vuotoja ja muita poikkeamia voidaan tulevaisuudessa ehkäistä ja hillitä. Johdannon alaluvussa on vielä kuvattu Nesteen jalostamoiden toimintaa ja ominaispiirteitä.

## **1.1 Nesteen jalostamot**

Nesteellä on neljä jalostamoita, jotka sijaitsevat Porvoossa, Naantalissa, Rotterdamissa ja Singaporessa. Raakaöljypohjaiset öljytuotteet valmistetaan Porvoon ja Naantalin jalostamoilla, kun taas uusiutuvien tuotteiden (biopolttoaineiden) valmistus tapahtuu Singaporessa, Rotterdamissa ja Porvoossa. (Neste 2018a.) Biopolttoaineilla tarkoitetaan biopohjaisista ja uusiutuvista raaka-aineista valmistettuja polttoaineita.

### **1.1.1 Suomessa sijaitsevat jalostamot**

Neste Suomessa sijaitsevat jalostamot muodostavat kokonaisuuden, joka koostuu viidestä tuotantolinjasta. Näistä neljä sijaitsee Porvoossa ja yksi Naantalissa. Porvoon jalostamon raakaöljyn jalostuskapasiteetti on vuositasona noin 10,5 miljoonaa tonnia. Jalostamolla on maanpäällistä ja maanalaista varastotilaa prosessin raaka-aineille sekä valmiille tuotteille. Tämän varastointitilan laajuus on noin kahdeksan miljoonaa kuutiometriä. Porvoon jalostamon yhteydessä on myös öljysatama, jossa käy vuosittain noin 1 100–1 400 alusta. (Neste 2018b.)

Naantalissa sijaitsevalla tuotantolinjalla valmistetaan esimerkiksi dieseliä, bitumia ja pienmoottoribensiiniä. Tuotantokapasiteetti vuositasona on noin 3 miljoonaa tonnia. Myös Naantalin jalostamolta löytyy raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden varastointitilaa, jota on yhteensä yli kuusi miljoonaa kuutiometriä. Jalostamon satamassa käy vuosittain noin 350 alusta. (Neste 2018c.)

### **1.1.2 Rotterdamin ja Singaporen jalostamot**

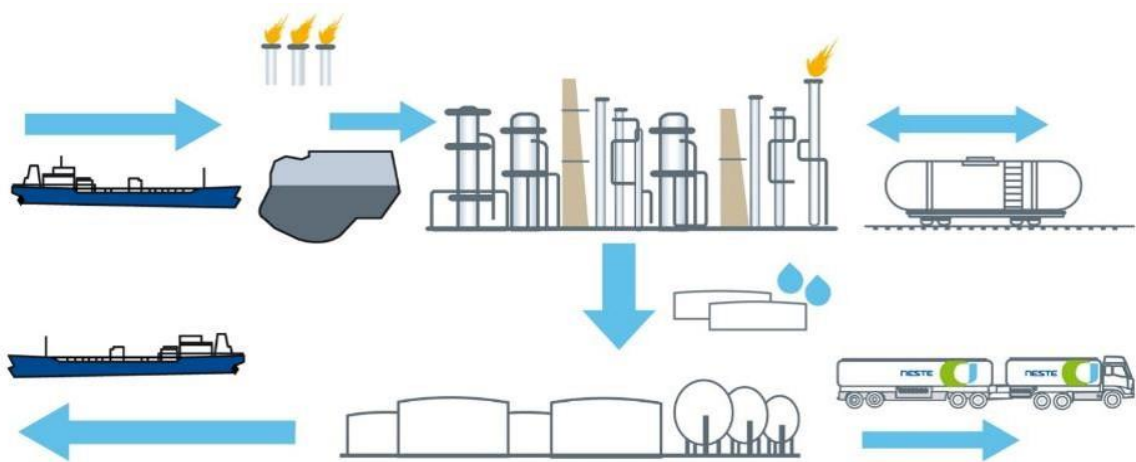
Rotterdamin jalostamo käynnistyi vuonna 2011 ja se on keskittynyt valmistamaan erityisesti uusiutuvaa dieseliä. Sen tuotantokapasiteetti on noin miljoona tonnia vuodessa ja jalostamo sijaitsee Euroopan suurimman sataman alueella. (Neste 2018d.) Singaporen jalostamo aloitti toimintansa vuonna 2010. Rotterdamin jalostamon tavoin siellä valmistetaan uusiutuvia tuotteita ja tuotantokapasiteetti on noin miljoona tonnia vuodessa. (Neste 2018e.)

## 2 ÖLJYNJALOSTUSPROSESSIN ELINKAARI

Tässä osiossa tutustutaan öljynjalostusprosessiin ja erotellaan siihen sisältyvät elinkaaren vaiheet. Tarkastelu keskittyy nimenomaan jalostukseen eikä siinä huomioida öljyntuotannon aiempia vaihteita, kuten öljynporausta.

### 2.1 Elinkaaren vaiheet öljynjalostuksessa

Öljynjalostus on kemianteollisuuden prosessi, jonka raaka-aineena käytetään raakaöljyä. Raakaöljy on hiilivetyjen seos, joka sisältää myös pieniä määriä rikki-, typpi- ja happipitoisia yhdisteitä. Raakaöljyn jalostuksessa raakaöljy jaetaan tislauksella jakeisiin, joita käsitellään fysikaalisesti ja kemiallisesti niin, että lopulta saadaan kaupallisia öljytuotteita. (Riistama et al. 2003, 24–25.)



**Kuva 1.** Öljynjalostusprosessin elinkaari (Neste 2018).

ISO 14040-standardissa elinkaarella tarkoitetaan tuotejärjestelmän peräkkäisiä tai vuorovaihteisia vaihteita raaka-aineiden hankinnasta tai tuottamisesta luonnonvaroista loppusijoitukseen (ISO 14040 2007, 12). Elinkaariarvioinnissa määritetään tuotejärjestelmät fysikaalisten järjestelmien avainosia kuvaavina malleina. Järjestelmän rajat määrittelevät mallinnettavaan järjestelmään sisällytettävät yksikköprosessit. (ISO 14040 2007, 32.) Tämän työn



piteissa elinkaari on järkevintä rajata koskemaan jalostamoilla tapahtuvia prosesseja. Näihin kuuluu prosessin raaka-aineiden vastaanotto, niiden varastointi, jalostusprosessi välivaiheeseen sekä valmiiden tuotteiden varastointi ja jakelu. Jalostamolla tapahtuvat öljynjalostuksen vaiheet on esitetty kuvassa 1.

## **2.2 Raakaöljyn vastaanotto jalostamolla**

Raakaöljyä tuottavat öljykentät sijaitsevat usein kaukana öljynjalostamoista, joissa raakaöljystä valmistetaan erilaisia tuotteita. Maanosien rajojen sisällä raakaöljyn kuljetus voi tapahtua öljyputkia pitkin, mutta maanosien välillä kuljetus vaatii suurikokoisia tankkereita. Raakaöljy siirretään tankkerista jalostamon säilytykseen, ja tähän liittyy riskejä. Purun yhteydessä toimivien operaattoreiden tulee olla hyvin koulutettuja ja purkamiseen käytetty laitteisto, kuten tankit ja putket hyvin suunniteltuja. Samalla tulee kiinnittää huomiota liitännöiden laatuun ja varmistaa laitteiston kunto riittävän usein. Tähän raakaöljyn purkamiseen ja varastointiin käytetäänkin automatisoitua mittausta ja laitteistoa tarkistetaan hyvän lopputuloksen varmistamiseksi. (Fox 2016, 393–394.) Tankkereista purettua raakaöljyä säilytetään jalostamon säiliöissä, joista se johdetaan edelleen varsinaiseen jalostusprosessiin. Foxin mukaan raakaöljyä voidaan kuljettaa myös rautateitse tai teitä pitkin. Näitä kuljetusmuotoja suositaan silloin, jos jalostamon maantieteellinen sijainti ei salli meriteitse kuljetusta. (Fox 2016, 397.)

## **2.3 Öljynjalostusprosessi**

Öljynjalostusprosessi koostuu useasta vaiheesta, joihin kuuluu suolanpoisto, tislauk, krakkaus, reformointi, alkylointi, rikinpoisto, oksygenaattien valmistus sekä aromaattinen hyd-raus (Riistama et al. 2003, 26). Seuraavissa luvuissa on kuvattu nämä jalostusprosessin vaiheet ominaispiirteineen.

### 2.3.1 Suolanpoisto

Jalostusprosessin ensimmäinen vaihe on suolanpoisto. Siinä esilämmitetään raakaöljy noin 120–140 °C ja siihen lisätään vettä voimakkaasti sekoittaen. Öljy johdetaan vaihtosähkökenttään, jossa vesi liuottaa suolat pois, ja kentän vaikutuksesta pienet pisarat yhdistyvät suuremmiksi pisaroiksi. Nämä pisarat painuvat suolavesisäiliön pohjalle, josta ne johdetaan jäteveden käsittelyyn. (Riistama et al. 2003, 26.)

### 2.3.2 Tislaus

Suolanpoistoa seuraa tislaus, jossa putkiuunissa kuumennettu öljy jaetaan pienessä ylipaineessa erilaisiin jakeisiin. Öljystä erotetaan tislauksolonissa jakeet siten, että bensiini ja sitä kevyemmät jakeet saavuttavat höyrymäisinä kolonnin huipun, mutta raskaammat jakeet lauhdutetaan välijäähdytyksillä, ja otetaan erilleen kolonnin keskivaiheen sivu-ulosotoista. (Hsu & Robinson 2017, 48–49.) Tislauksessa syntyy erilaisia tuotteita, joita ovat kaasut, suoratilauksbensiini, keskitisleet, raskas kaasuöljy ja tislautumaton pohjaöljy. Kaasut johdetaan kaasujen talteenottoyksikköön, missä polttokaasu erotellaan nestekaasuista. Osa suoratilauksbensiinistä käytetään teollisuusbensiininä, mutta suurin osa siitä johdetaan rikinpoiston jälkeen reformointiyksikköön. Keskitisleisiin kuuluu petroli sekä kaasuöljyt, ja näistä jälkimmäiset hyödynnetään rikinpoiston jälkeen dieselöljyn ja kevyen polttoöljyn valmistukseen. Raskas kaasuöljy puolestaan käytetään katalyyttisten krakkausyksiköiden syöttönä ja tislautumaton pohjaöljy menee tyhjötislaukseen. Tyhjötislauksessa erotellaan pohjaöljystä katalyyttisten krakkausyksiköiden syötöksi kelpaavia jakeita, kun taas tislautumaton pohjaöljy hyödynnetään raskaana polttoöljynä. Tämä vaatii kuitenkin sen viskositeetin alentamista. (Riistama et al. 2003, 26.)

### 2.3.3 Krakkaus

Tislauksen jälkeen krakkauksessa pilkotaan öljyn suuria hiilivetymolekyylejä pienemmiksi. Krakkauksessa on kaksi päätyyppiä: lämpö- ja katalyyttinen krakkaus. Lämpökrakkauksessa tyhjötislauksyksikön pohjaöljy kuumennetaan 430–450 °C lämpötilaan, ja öljy krakkautuu

termisesti. Reaktio jäädytetään nopeasti ja johdetaan tislauskolonniin, jossa kevyemmät komponentit eli kaasut ja bensiinit erotellaan raskaaksi polttoöljyksi käytettävästä pohjaöljystä. Jäähdytyksellä estetään tuotteen liika krakkautuminen. (Riistama et al. 2003, 27.)

Katalyyttistä krakkausta on kolmea tyyppiä. Näihin kuuluu leijukatalyyttinen krakkaus (FCC), lämpökatalyyttinen krakkaus sekä vetykrakkaus. Leijukatalyyttisessä krakkausyksikössä reaktiot tapahtuvat noin 500 °C:n ja 1,5 barin paineessa. Katalyyttinä käytetään alumiinisilikaattia. Yksikkö muodostuu rinnakkain olevista reaktorista ja regeneraattorista. Krakkausprosessissa hienojakoinen katalyytti kiertää nousuputkessa regeneraattorista reaktoriin. Tämä kierto tapahtuu höyrystyneen syöttö-öljyn kuljettamana. Katalyytin erottamiseen höyrystyneestä öljystä käytetään sykloneja, ja se palautetaan regeneraattoriin, jossa siitä poltetaan ilman avulla pois pintaan muodostunut koksi. Krakkauneet öljyhöyryt johdetaan krakkausyksikön reaktorista tislauskolonniin, jossa niistä valmistetaan tislaamalla tuotteita. (Riistama et al. 2003, 28.)

Lämpökatalyyttinen krakkausyksikkö muodostuu regenerointiunista eli kilnistä ja reaktorista, jotka on sijoitettu päällekkäin muodostaen korkean tornin. Helmimäisessä muodossa oleva katalyytti kiertää prosessissa jatkuvasti ja nousee ilman avulla tornin huipulle. Katalyytti valuu reaktorin läpi ja reagoi samalla esilämmitetyn syöttö-öljyn kanssa. Syntynyt tuoteseos erotellaan katalyyttistä puhdistushöyryllä reaktorin alaosassa, josta se johdetaan edelleen tislaukseen. Katalyytin pinnalle muodostunut koksi poltetaan regenerointiunissa. Jäähdytyksen jälkeen katalyytti nostetaan ilmavirran avulla takaisin krakkausyksikön huipulle. (Riistama et al. 2003, 28.)

Vetykrakkaus tapahtuu korkeassa vetypaineessa ja 400 °C:n lämpötilassa. Tällöin korkean kiehumispisteen omaavat hiilivedyt pilkkoutuvat ja muuttuvat kevyemmiksi sitoen samalla vetyä. Näin ollen reaktioseokseen ei jää olefiinisiä yhdisteitä. Syöttöön kuuluvat rikki- ja typpiyhdisteet pelkistyvät rikkivedyksi ja ammoniakiksi. Krakkausyksikköön kuuluu kaksi sarjaan kytkettyä reaktoria, joista ensimmäisessä tapahtuu rikki- ja typpiyhdisteiden pelkistyminen katalyytin avulla. Toisessa reaktorissa tapahtuu krakkautumisreaktiot. Niissä katalyyttinä toimii nikkeli-volframi. Vetykrakkauksessa syntyy polttokaasua, bensiiniä, petroolia,

kaasuöljyä ja pohjaöljyä. Tuotteet erotetaan pohjaöljystä tislauksen avulla ja ne ovat korkea-laatuksia moottoribensiini- ja dieselpolttoainekomponentteja. Krakkaukseen tarvittava vety tulee reformointiyksiköstä, jonka toimintaa käsitellään seuraavassa alaluvussa. (Riistama et al. 2003, 27–28.)

#### **2.3.4 Reformointi**

Reformointi on öljynjalostusprosessin vaihe, jossa nostetaan moottoribensiinin oktaanilukua. Reformointiyksikköön syötetään raakaöljyn tislauksen ja vetykrakkausyksikön bensiiniä. Prosessissa käytettyyn katalyyttiin liittyy sen myrkyttymisvaara, jonka poistamiseksi tislauksen bensiini syötetään rikinpoistoyksikön läpi rikin, typen ja hapen poistamiseksi. Reformointireaktiot tapahtuvat noin 500–540 °C:n lämpötilassa ja 5–9 barin paineessa. Reaktion katalyyttinä toimii alumiinioksidikantajalla olevaa platinaa. Sivureaktiona katalyytin pinnalle muodostuu koksia, joka poltetaan pois regeneroinnin avulla, ja katalyytti palauteetaan takaisin reaktoreihin. (Riistama et al. 2003, 30.) Reformointiyksikköön kuuluu tyypillisesti useita reaktoreita, jotka on kytketty sarjaan. Ennen jokaista reaktoria, reaktioseos johdetaan kuumennusuunin läpi. Reformoinnista syntyneestä tuotteesta erotellaan vety ja tuote stabiloidaan poistamalla siitä kaasumaiset yhdisteet. Bentseenivapaa reformaatti menee moottoribensiinien valmistukseen. (Hsu & Robinson 2017, 57–58.)

#### **2.3.5 Alkylointi**

Alkylointiyksikön syöttönä on nestekaasujakeet, n-buteeni ja isobutaani, joista valmistetaan korkeaoktaanista moottoribensiinikomponenttia. Tätä komponenttia kutsutaan alkylaatiksi. (Hsu & Robinson 2017, 59.) Buteenisyötön laatu vaikuttaa merkittävästi tuotteen laatuun, ja se käsitellään usein vedyllä. Näin siitä poistuu tiettyjä epäpuhtauksia ja 1-buteeni isomeroituu 2-buteeniksi. Alkylointireaktiot ovat eksotermisiä ja nopeita reaktiota, joissa syöttövirtojen puhtaus on tärkeää. Puhtaista syötöistä syntyy vähemmän haitallisia raskaita hiilivetykomponentteja. Isobutaanin ja n-buteenin reaktiot tapahtuvat reaktoriputkessa, ja katalyyttinä käytetään nestemäistä fluorivetykatalyyttiä. Reaktiotuotteet johdetaan tämän jälkeen selkeyttimeen, jossa tapahtuu fluorivedyn erottaminen. Fluorivety palautetaan erotuksen ja

jäähdytyksen jälkeen takaisin reaktoriin. Alkylaatilla on oma erotuskolonninsa, jossa se erotetaan muista reaktiotuotteista. (Riistama et al. 2003, 31–33.)

### **2.3.6 Rikinpoisto**

Rikinpoisto tapahtuu omassa yksikössään, jossa suoratislausbensiinistä poistetaan rikki ennen sen reformointia. Lisäksi rikki poistetaan raakaöljyn tislauksen ja katalyyttisen krakkauksen keskitisleistä. Nämä poistoreaktiot tapahtuvat vetypaineessa ja 300–380 °C:n lämpötilassa. Reaktion katalyytti sisältää kobolttia tai nikkeliä sekä molybdeenia. Rikinpoistossa syötön sisältämä rikki pelkistyy rikkivedyksi. Reaktiossa poistuu syöttöaineesta myös typpi, happi sekä metalliset platinakatalyytin sisältämät myrkyt. (Riistama et al. 2003, 33.)

### **2.3.7 Oksygenaattien valmistus**

Oksygenaatit ovat happea sisältäviä hiilivetyjä, joita lisätään polttoaineeseen. Näin polttoaine palaa puhtaammin. Oksygenaatteja valmistetaan MTBE- ja TAME-yksiköissä. MTBE- eli metyyli-tert-butyylieetteri-yksikössä metanoli ja syöttöainevirtojen sisältämä isobuteeni reagoivat noin 70 °C:n lämpötilassa ja 15 barin paineessa. Reaktiossa katalysaattorina toimii hapan ioninvaihtoharts. TAME- eli tert-amylyli-metyylieetteri-yksikössä syöttöaineena toimii metanoli sekä katalyyttisestä krakkausyksiköstä saatava kevytbensiini. Tämä kevytbensiini sisältää olefiinejä. Haitalliset diolefiinit pelkistetään ensin olefiineiksi, jota seuraa eetteröintireaktio. Metanoli reagoi isoamyleenin ja isohekseenin kanssa muodostaen happipitoisia eettereitä. Prosessiolosuhteet ovat hyvin samankaltaiset kuin MTBE-yksikössä. (Riistama et al. 2003, 34.)

### **2.3.8 Aromaattinen hydraus**

Öljynjalostusprosessiin kuuluvassa aromaattisessa hydrauksessa tuotteisiin lisätään vetyä. Tämä parantaa tuotteiden laatua, vähentää dieselistä syntyviä päästöjä ja poistaa fysiologi-

sesti haitallisen bentseenin moottoribensiinistä. Aromaattisessa hydrauksessa syöttönä tulevasta raakaöljystä tislatuista, rikinpoistoyksikössä käsitellyistä liuottimista ja kevyistä keskisiselejäkeistä tuotetaan liuotinjakeita. (Riistama et al. 2003, 36.)

## 2.4 Valmiiden tuotteiden varastointi ja jakelu

Öljynjalostusprosessissa syntyy erilaisia tuotteita, joihin kuuluu muun muassa nestekaasu, moottoribensiini, petrolit, dieselöljy, kevyt polttoöljy, raskas polttoöljy ja bitumit (Riistama et al. 2003, 38). Näiden tuotteiden varastointi tapahtuu jalostamoiden säiliöissä, joista ne johdetaan edelleen jakeluun erilaisille asiakkaille. Foxin mukaan jakelu voi tapahtua monella eri tavalla riippuen asiakkaan tarpeista, kuten tarvittavan polttoaineen määrästä ja siitä kuinka säännöllisesti polttoainetta tarvitaan. Yksittäiset suuret asiakkaat, kuten öljyä polttoaineenaan käyttävät sähköntuotantolaitokset tarvitsevat jatkuvasti polttoainetta toimintaansa. Tällaisia laitoksia on 1900-luvulta alkaen rakennettu jalostamoiden läheisyyteen, jotta kuljetus- ja siirtokustannukset voidaan minimoida. Jos asiakkaana toimiva laitos sijaitsee jalostamon välittömässä läheisyydessä, voidaan öljyä siirtää niin sanotusti ”aidan läpi” tuotantolaitoksen omiin säiliöihin. Tällöin minimoituu myös riskit siirtämiseen liittyvissä onnettomuuksissa tai muissa häiriöissä. Jos polttoainetta tarvitseva laitos sijaitsee kauempana jalostamosta, siirretään öljy säiliöautoihin tai junan säiliöihin kuljetusta varten. Näissä tapauksissa tulee olla huolellinen kuljetukseen käytettävien tankkien täyttämisenä. Täyttöön voi liittyä ylitäytön tai vuodon riski. (Fox 2016, 404–405.)

Asiakaskuntaan voi kuulua myös pieniä tai keskisuuria teollisuuden toimijoita sekä huoltoasemia, joiden polttoaineen tarve on pienempi kuin suurilla sähköntuotantolaitoksilla (Fox 2016, 405). Näidenkin tapauksessa jakelu tapahtuu pääosin rautateiden tai teiden välityksellä kuljetukseen varatuissa säiliöissä, joten niiden täyttöön liittyy samat riskit kuin edellä on mainittu.

### **3 UUSIUTUVAN DIESELIN JALOSTUKSEN ELINKAARI**

Tässä osiossa käsitellään uusiutuvan dieselin jalostuksen elinkaarta. Öljynjalostuksen tavoin tarkastelu keskittyy jalostamolla tapahtuviin prosesseihin. Käsittelyssä on raaka-aineiden vastaanotto, jalostusprosessi, varastointi ja jakelu. Uusiutuvalla dieselillä viitataan tässä työssä Nesteen valmistamaan dieseliin, josta käytetään nimitystä HVO-diesel (Hydrotreated Vegetable Oil).

#### **3.1 Raaka-aineiden vastaanotto**

Nikanderin mukaan uusiutuvan dieselin jalostuksessa polttoaineena käytetään palmuöljyä, rapsiöljyä sekä eläinrasvaa. Palmu- ja rapsiöljyn kuljetus tapahtuu meriteitse tankkereilla. Eläinrasvan kuljetus tapahtuu puolestaan säiliöautoilla. (Nikander 2008, 54.) Nesteen prosesseissa raaka-aineista lähes 80 % koostuu jätteistä ja teollisuuden prosesseissa syntyvistä tähteistä, kuten eläinrasvasta ja kasviöljyjen tuotannon sivutuotteina syntyvistä rasvahappotisleistä (Neste 2018f). Raaka-aineet otetaan vastaan jalostamolla, ja ne siirretään edelleen jalostamon omiin varastointisäiliöihin. Toisin kuin öljynjalostusprosessissa, kasviöljyjen haihtumiseen tai vapautumiseen ei liity yhtä suuria riskejä päästöjen osalta. Käsiteltävien aineiden haitallisuus ympäristölle on huomattavasti pienempi kuin raakaöljyn tapauksessa. Näin ollen purkamisen ja varastoinnin riskit ympäristölle eivät ole yhtä merkittävät, mutta käsittely on silti suoritettava huolellisesti.

#### **3.2 Uusiutuvan dieselin jalostusprosessi**

Uusiutuvan dieselin jalostusprosessi koostuu kahdesta vaiheesta, jotka ovat raaka-aineiden esikäsittely ja vetykäsittely. Raaka-aineiden esikäsittely tarkoittaa niiden puhdistamista. Näin raaka-aineista poistetaan erilaisia epäpuhtauksia, jotka voisivat vaikuttaa lopullisen tuotteen laatuun. Esikäsittely vaatii itse raaka-aineiden lisäksi kemikaaleja, jäähdytysvettä, prosessivettä ja höyryä. Esikäsittelyssä syntyy jätevettä, joka johdetaan jäteveden käsitteilyyn. Esikäsitelty raaka-aine siirretään vetykäsittelyprosessiin, jossa kasviöljyjen ja eläinras-

vojen triglyseridit muutetaan kyllästetyiksi suoraketjuisiksi hiilivedyiksi. Triglyseridien sisältämä happi muuttuu vedeksi, hiilimonoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Vetykäsittely on ekso-terminen prosessi, jossa sen vaatima lämpö muodostuu prosessin aikana. (Nikander 2008, 55–57.)

### **3.3 Valmiiden tuotteiden varastointi ja jakelu**

Öljynjalostuksen tavoin valmiit tuotteet varastoidaan jalostamalla niille varattuihin säiliöihin. Näistä säiliöistä ne johdetaan edelleen jakeluun. Jakeluun voidaan käyttää säiliöautoja, junien säiliöitä tai tankkereita riippuen kuljetusmatkasta. Kuljetussäiliöiden täyttöön liittyy samat riskit kuin öljynjalostustuotteiden tapauksessa, joten siihen vaaditaan toimivaa tekniikkaa, huolellisuutta ja valvontaa.



## 4 ÖLJYN JA UUSIUTUVAN DIESELIN JALOSTUKSEN ELINKAAREN PÄÄSTÖT

Tässä osiossa kuvataan öljyn ja uusiutuvan dieselin jalostusprosessista aiheutuvia päästöjä. Nämä päästöt on jaettu ilmaan, maaperään ja vesistöihin aiheutuviin päästöihin. Eri päästötyyppien osalta on tunnistettu myös niiden sijoittuminen jalostusprosessin elinkaareissa.

### 4.1 Ilmaan aiheutuvat päästöt

Öljynjalostuksesta ilmaan aiheutuvista päästöistä noin 60 % on seurausta energiantuotannosta, jota jalostuksen eri vaiheet vaativat. Voimalaitokset, kattilat, kuumennuslaitteet ja katalyyttinen krakkaus aiheuttavat suurimman osan hiilimonoksidin (CO), hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiukkasten ja rikin oksidien (SO<sub>x</sub>) päästöistä. Rikin oksidien päästöjä syntyy lisäksi soihduista ja rikin talteenottoyksiköistä. Hiukkaspäästöjä syntyy myös katalyyttien vaihdon yhteydessä. Näiden lisäksi päästöjä ilmaan syntyy raaka-aineiden ja tuotteiden varastoinnista, lastauksesta, käsittelystä sekä erilaisina hajapäästöinä esimerkiksi venttiileistä tai viemäreistä. Nämä päästöt muodostuvat pääsääntöisesti haihtuvista orgaanisista hiilivedyistä (VOC). (Grist 2016, 378.) Uusiutuvan dieselin jalostuksen päästöt ilmaan muodostuvat energiantuotannosta syntyvistä hiilidioksidipäästöistä (Nikander 2008, 57–59).

Hiilimonoksidia ja hiilidioksidia syntyy palamisesta, kun polttoaineessa oleva hiili reagoi ilmassa olevan hapen kanssa. Myös typen oksidipäästöjä syntyy pääosin polttoaineen palamisessa, kun sen sisältämä typpi vapautuu ja samalla myös ilman sisältämä typpi hapettuu. (Grist 2016, 378–382.) Näin ollen hiilimonoksidi-, hiilidioksidi- ja NO<sub>x</sub>-päästöjä syntyy jalostusprosessin eri vaiheissa, joissa tuotetaan lämpöä polttoaineita polttamalla. Tästä esimerkkinä on energiantuotanto tai leijukatalyyttiseen krakkausyksikköön kuuluvien uunien käyttö. Gristin mukaan rikin oksideja syntyy katalyyttisessä krakkauksessa, rikin poistossa sekä rikin talteenotossa. Näin ollen rikkipäästöt sijoittuvat pääosin jalostusprosessiin. Rikin oksideja voi syntyä kuitenkin myös energiantuotannon yhteydessä, jos polttoaineena käytetään öljytuotteita. (Grist 2016, 381.)

Pääosa öljynjalostusprosessin hiukkaspäästöistä syntyy FCC-yksikön regeneraattoreista ja myös muista katalyyttipohjaisista prosesseista. Kaikkein vaarallisimpia hiukkasia ovat raskasmetalleja tai polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH) sisältävät hiukkaset. (Grist 2016, 380.) VOC-päästöjä voi syntyä oikeastaan öljynjalostusprosessin elinkaaren kaikissa vaiheissa. Nämä liittyvät hiilivetyjen haihtumiseen tai vuotamiseen. Näitä päästöjä voi syntyä esimerkiksi paineistetuista prosessilaitteista, varastoinnista, jakeluhäviöistä sekä jätevedestä haihtumisen muodossa. (Grist 2016, 383.) Uusiutuvan dieselin jalostuksessa VOC-päästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin öljynjalostuksessa. Öljynjalostusprosessissa voi syntyä myös hajupäästöjä, jotka aiheuttavat eniten julkisia valituksia prosessiin liittyen. Gristin mukaan erityisesti rikkivety ja metyyli-merkaptani ovat jalostamoiden merkittävimpiä hajupäästöjä, joita vapautuu esimerkiksi varastointiin käytettävistä säiliöistä, viemärijärjestelmistä sekä vedenpuhdistuslaitteistosta (Grist 2016, 383).

## **4.2 Maaperään aiheutuvat päästöt**

Maaperään on mahdollista vapautua raakaöljyä, jalostusprosessin väli- tai lopputuotteita tai hiilivetyjä sisältävää vettä. Nämä riskit ovat olemassa, kun edellä mainittuja komponentteja varastoidaan tai siirretään. Jalostamot on kuitenkin usein suunniteltu niin, ettei niiden normaalista toiminnasta aiheudu päästöjä maaperään. (Grist 2016, 386.) Erilaisten vuotojen mahdollisuus on kuitenkin olemassa, ja se on läsnä kaikissa jalostusprosessin elinkaaren vaiheissa, joissa käsitellään raakaöljyä, valmiita tuotteita tai prosessin jätevesiä. Maaperään aiheutuvat päästöt aiheuttavat riskin myös pohjaveden pilaantumisesta.

## **4.3 Vesistöihin aiheutuvat päästöt**

Öljynjalostusprosessista voi aiheutua erilaisia päästöjä veteen. Näihin kuuluu muun muassa öljyä, raskasmetalleja ja ravinteita. Eniten jätevettä syntyy elinkaaren aikana tislauksesta sekä katalyyttisestä krakkauksesta ja reformoinnista. Tislauksesta syntyvä jätevesi sisältää kondensoitunutta höyryä, joka sisältää rikkivetyä, ammoniakkaa ja öljyistä vettä. Myös sadevesi voi kerätä itseensä haitallisia aineita, jos se pääsee kontaktiin näiden aineiden kanssa.

Näin ollen prosessialueen puhtaudella on merkitystä pilaantuneiden sadevesipäästöjen ehkäisemisessä. Suurin osa päästöistä veteen tapahtuu jäteveden puhdistuksen jälkeen. Tällöin puhdistettu tai käsitelty jätevesi johdetaan läheiseen vesistöön, kuten mereen. Tässä jätevedessä voi olla pieniä määriä esimerkiksi hiilivetyjä, raskasmetalleja tai ravinteita. (Grist 2016, 384–385.) Öljynjalostuksen tavoin myös uusiutuvan dieselin jalostuksesta syntyy jätevesiä, jotka johdetaan niille tarkoitettuun puhdistusjärjestelmään.

Öljyä voi päätyä veteen öljynjalostusprosessissa monessa vaiheessa. Esimerkiksi raakaöljyn purkaminen niitä kuljettaneista tankkereista voi aiheuttaa riskin öljyn vapautumisesta veteen. Foxin mukaan öljyä voi päätyä veteen öljytankkereiden pesun yhteydessä. Raakaöljyn kuljetusten välissä tankkereita voidaan pestä jalostamon satamassa, ja tähän liittyy riski öljyisen veden vapautumisesta ympäristöön. (Fox 2016, 394.) Öljynjalostusprosessista syntyy myös jätevesiä, jotka voivat vapautua veteen esimerkiksi säilytysaltaan ylitulvinnan seurauksena.

Alakankaan mukaan raskasmetallit ovat yleisnimitys aineille, jotka ovat myrkyllisiä tai haitallisia luonnolle ja ihmiselle (Alakangas et al. 2016, 17). Niitä voi päätyä jätevedeen jalostusprosessin eri vaiheissa. Öljynjalostuksesta voi syntyä lisäksi ravinnepäästöjä esimerkiksi tislauksesta syntyvän ammoniakkin muodossa. Raskasmetalleja ja ravinteita saattaa esiintyä vedessä pieniä pitoisuuksia myös puhdistuksen jälkeen. Näin ne vapautuvat vesistöön, johon puhdistettu jätevesi prosessin jälkeen johdetaan.

## **5 HÄIRIÖTILANTEIDEN TUNNISTAMISEEN KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT**

Tässä osiossa tarkastellaan erilaisia menetelmiä, joita hyödynnetään häiriötilanteiden tunnistamiseen. Ensin selvitetään ISO-14001-standardin sisältämät viittaukset häiriötilanteiden tunnistamiseksi ja lisäksi tutustutaan teorian tasolla näihin menetelmiin, joihin kuuluvat puumenetelmät, kuten vika- ja tapahtumapuuanalyysi, poikkeamatarkastelutyökalu HAZOP (Hazard and Operativity Study), sekä toimintovirheanalyysi. Osa näistä menetelmistä soveltuu prosessin suunnitteluvaiheeseen, kun taas osaa voidaan hyödyntää käynnissä olevan prosessin kehittämiseen. Kaikkien menetelmien tavoitteena on kuitenkin minimoida prosessissa esiintyvien poikkeamien, kuten vuotojen, määrä.

### **5.1 Häiriötilanteiden tunnistaminen ISO 14001-standardissa**

ISO 14001-standardin mukaan organisaation tulee määrittää riskit ja mahdollisuudet, jotka liittyvät sen ympäristönäkökohtiin. Näiden ympäristönäkökohtien määrittämisessä on otettava huomioon muutokset, kuten suunnitellut tai uudet kehityssuunnat ja uudet muuttuneet toiminnot, tuotteet ja palvelut. Lisäksi tulee määrittää normaalista poikkeavat olosuhteet ja kohtuuden rajoissa ennustettavissa olevat hätätilanteet. (ISO 14001 2015, 15–16.) Näin ollen organisaation tulee pyrkiä tunnistamaan ja ennakoimaan erilaisia häiriötilanteita. Tunnistaminen voi perustua osin aiemmin sattuneisiin tapauksiin ja kokemuksiin, mutta osa tapauksista voi olla ennalta arvaamattomia, eikä niihin pystytä varautumaan samalla tavalla.

### **5.2 Puumenetelmät**

Puumenetelmät ovat riskianalyysitekniikoita, joiden avulla voidaan tarkastella prosesseja tai niiden osia yksityiskohtaisemmin. Ne sopivat erinomaisesti tapahtumaketjun mallintamiseen. Puumenetelmien avulla voidaankin tutkia niin kutsuttuja domino-vaikutuksia, jossa yhdestä tapahtumasta seuraa useampia uusia tapahtumia. Puumenetelmiin kuuluu kaksi erilaista riskianalyysitekniikkaa: vika- ja tapahtumapuuanalyysi. (Wessberg et al. 2006, 23–24.)

### 5.2.1 Vikapuuanalyysi

Vikapuuanalyysi on deduktiivinen riskianalyysitekniikka, joka vaatii tutkittavan systeemiin kvalitatiivista analysointia. Siinä tunnistetaan systeemistä ensin jokin vika tai epätoivottu tapahtuma. Kun tämä tapahtuma on tunnistettu, aletaan tunnistaa loogisia yhteyksiä niin sanottujen primääri- eli perustapahtumien välillä. Esimerkki tällaisesta primääritapahtumasta voi olla esimerkiksi teknisen komponentin vika, operaattorin tekemä virhe tai ulkopuolinen tekijä. Näistä tapahtumista ja niiden välisistä yhteyksistä aletaan muodostaa itse vikapuuta. Kyseessä on kvalitatiivinen analyysi, joka pyrkii vastaamaan kysymykseen: ”Kuinka tämä voi tapahtua?”. Huipputapahtumaksi valikoituu epätoivottu tapahtuma osasysteemissä, kuten jäähtytyksessä, joka on johtanut vahinkoon. Primääritason tapahtumat siis johtavat näihin huipputapahtumiin, ja vikapuu kuvaa miten tähän huipputapahtumaan voidaan päätyä. Esimerkiksi operaattorin virhe voi johtaa vikaan osasysteemissä. Tämä vika vaikuttaa edelleen toiseen osaprosessiin ja lopulta seurauksena on huipputapahtuma eli epätoivottu tapahtuma. Osa näistä tapahtumista vaatii useampia toimintavirheitä toteutuakseen, mutta toisten tapausten kohdalla jo yhden virheen tapahtuminen voi johtaa seuraavaan. (Hauptmanns 2015, 316–317.)

### 5.2.2 Tapahtumapuuanalyysi

Tapahtumapuuanalyysi on riskianalyysitekniikka, jolla voidaan tarkastella prosessia kvalitatiivisesti tai kvantitatiivisesti. Kyseisessä tekniikassa määritetään ensin tapahtumaketjun käynnistävä tapahtuma, joka johtaa edelleen uusiin tapahtumiin. Tarkastelussa myös huomioidaan erilaiset turvasysteemit, jotka joko onnistuvat tai epäonnistuvat hallitsemaan tätä epätoivottua tapahtumaa. Nämä systeemit huomioon ottaen tunnistetaan erilaiset potentiaaliset seuraukset, jotka voivat aiheutua alkuperäisestä ketjun käynnistävästä tapahtumasta. Tapahtumapuun tapahtumat voidaan jaotella prosessilaitoksen sisäisiin sekä ulkoisiin tapahtumiin. Sisäisiä tapahtumia ovat esimerkiksi käytettyjen laitteiden tai prosessin hallintalaitteiston viat sekä työntekijöiden inhimilliset virheet. Ulkoisia tapahtumia puolestaan ovat muun muassa luonnonilmiöt, kuten maanjäristykset, ja läheisten tuotantolaitosten onnettomuudet. Erilaisia tapahtumia voi olla suuri määrä, ja niitä tuleekin rajata niin, että huomioidaan kaikkein

eniten ja useimmin epätoivottuun lopputapahtumaan johtavat tapahtumat. (Hauptmanns 2015, 309–310.)

### **5.3 Poikkeamatarkastelu, HAZOP**

HAZOP soveltuu hyvin prosessilaitosten turvallisuusanalyysin tekemiseen. Siinä otetaan tarkasteluun kaikki prosessin toiminnalliset yksiköt ja pyritään tunnistamaan kaikki poikkeamat, joita niissä voi esiintyä. Näiden poikkeamien osalta pyritään myös arvioimaan millaisia seurauksia niillä voi olla. Esimerkiksi laitteiston vika voi johtaa prosessin lämpötilan nousuun, jolla on edelleen vaikutus muihin tekijöihin. Tässä apuna voidaan käyttää apusanoja, jotka liittyvät erityisesti prosessin käynnistämiseen ja alasajoon. Nämä apusanat voivat kuvailla kvantitatiivisia tai kvalitatiivisia ominaisuuksia tai ne voivat olla sidoksissa aikaan. Poikkeamatarkastelu kannattaa tehdä moniammatillisen ryhmän kesken, jolloin saadaan käyttöön laajempi tieteellinen osaaminen ja erilaisia näkökulmia. Analyysin tekeminen vaatii PI-kaavion (putkitus- ja instrumentointikaavio) ja prosessin yksityiskohtaisen kuvauksen. Prosessi käydään läpi jopa yksittäisten putkien tasolla, ja näiden komponenttien prosessiparametreihin, kuten lämpötilaan tai paineeseen, liitetään edellä mainitut avainsanat. Näiden komponenttien pohjalta tuotetaan ajatustyön avulla potentiaalisia seurauksia ja tilanteita. Näin voidaan samalla myös suunnitella mahdollisia toimenpiteitä näiden seurausten hillitsemiseksi. (Dunjó et al. 2009, 20.)

### **5.4 Toimintovirheanalyysi**

Toimintovirheanalyysillä tunnistetaan systeemien tai sivusysteemien komponenttien virheitä, vaarallisia tilanteita ja näiden seurauksia. Analyysi vaatii systeemin kuvausta, systeemin toimintojen kuvausta, komponenttien potentiaalisten virhetilojen ja inhimillisten virheiden arviointia sekä prosessia ympäröivien olosuhteiden kuvausta. Prosessi tulee jakaa komponenttien tasolle, kuten pumppuihin tai venttiileihin. Jokaiseen komponenttiin liittyen kirjataan ylös muun muassa sen tyyppi, toiminta, vikatilat, vian vaikutus systeemiin, vian tunnistusmenetelmä, mahdolliset toimenpiteet vian sattuessa sekä huomiot ja havainnot. Analyysin luonteeseen kuuluu, että kaikki komponentit analysoidaan ja samalla selvitetään myös niiden potentiaalisten vikatilojen seuraukset. Tähän kuuluu myös niin kutsuttu yhden vian

kriteeri, jonka mukaan yhden komponentin vika ei saa aiheuttaa vaaratilaa systeemille. Toimintovirheanalyysi ei sovi kovin hyvin erilaisten prosessikomponenttien vikatilojen ketjureaktioiden arvioimiseen. Sitä voikin käyttää muiden häiriötilojen tunnistamiseen käytettävien menetelmien, kuten puumenetelmien, käyttöönoton valmisteluun. (Hauptmanns 2015, 306–307.)

## 6 CASE NESTE: NESTEEN VIRANOMAISILLE ILMOITTAMAT VUODOT JA MUUT POIKKEAMAT

Työn Case-osiossa kuvataan Nesteeltä saadun aineiston pohjalta tehtyjä havaintoja sekä käydään läpi eri kategorioihin luokiteltua tietoa. Tutkittava aineisto koostuu kahdesta Excel-tilusta, joihin on kerätty tietoa vuosien 2016–2018 ajalta. Toinen aineiston taulukoista sisältää Nesteen jalostamoilla tapahtuneet vuodot sekä poikkeamatilanteet ja toinen jalostamoiden toiminnasta aiheutuneista haju- tai melupäästöistä tehty haittailmoitukset sekä jonkin verran myös muita ilmoituksia. Työn aineistona käytettävät taulukot sisältävät tietoja, joita ei voi esittää julkisesti. Näin ollen tutkittujen taulukoiden tiedot on kuvattu tapauskohtaisesti yleisellä tasolla seuraavissa alaluvuissa. Suoritetun luokittelun ja havaintojen pohjalta tehdään lisäksi analyysia ja toimenpide-ehdotuksia koskien eri jalostamoita.

### 6.1 Viranomaisille ilmoitetut vuodot ja muut poikkeamat

Nesteellä on esiintynyt vuosien 2016–2018 aikana yhteensä 44 vuotoa tai muuta viranomaisille ilmoitettua poikkeamaa. Näistä 25 sijoittuu Porvooseen, seitsemän Naantaliin, kolme Rotterdamiin, seitsemän Nesteen liikenneasemille ja kaksi muihin sijainteihin. Singaporeen ei sijoittunut yhtään tapausta. Kaikki tapaukset on kirjattu taulukkoon 1. Vuotojen ja poikkeamien jaottelussa on tavoitteena kategorioida tapahtumat niiden sijainnin mukaan sekä tunnistaa tapauskohtaisesti, mikä on tapauksen taustalla oleva syy. Tässä vaihtoehtoina ovat laitteiston vika, väärä toimintamalli tai molemmat edellä mainitut. Sijainnin osalta tunnistetaan sekä jalostamo, johon tapaus sijoittuu että tarkempi sijainti jalostamolla.

**Taulukko 1.** Vuodot ja muut poikkeamat Nesteen jalostamoilla ja liikenneasemilla.

Taustalla oleva syy [laitteisto/toiminta]	Sijainti				
	Porvoo	Naantali	Liikenneasemat	Rotterdam	Muu sijainti
Laitteisto	17	3	3	2	1
Toiminta	7	4	4	1	1
Molemmat	1	-	-	-	-
Yhteensä	25	7	7	3	2



Osaan Nesteen jalostamoilla ja liikenneasemilla esiintyvistä vuodoista ja poikkeamista liittyy päästöjä ympäristöön. 44:stä tapauksesta 39:ään liittyy jonkinlaisia päästöjä ilmaan, maaperään, veteen, prosessilaitteistoon, laatalle tai keräilyjärjestelmään. Taulukossa 2 on esitetty nämä tapaukset päästökohdeittain. Tapaukset on esitetty sijainnin mukaan niin, että taulukosta käy ilmi, kuinka monta tapausta sijoittuu kuhunkin päästön kokoa kuvaavaan kategoriaan. Nämä kategoriat on jaettu päästön koon mukaisesti kiloina. Päästöt ilmaan muodostuvat pääosin hiilivedyistä sekä rikkidioksidista. Muut päästöt ovat suurimmaksi osaksi raakaöljyä tai erilaisia öljypohjaisia tuotteita.

**Taulukko 2.** Vuotoihin ja muihin poikkeamiin liittyvät päästöt päästömäärän mukaan.

Päästökohde	Sijainti	Päästömäärä [kg]			Yhteensä
		alle 1 000	1 000 - 5 000	yli 5 000	
Maaperä	Porvoo	3	7	4	14
	Naantali	2	1	-	3
	Liikenneasemat	4	-	-	4
	Rotterdam	1	-	-	1
Ilma	Porvoo	2	2	3	7
	Naantali	-	-	2	2
	Rotterdam	1	-	-	1
Vesi	Porvoo	1	-	-	1
Prosessilaitteisto	Porvoo	-	1	-	1
	Muu sijainti	1	-	-	1
Laatta	Liikenneasemat	2	-	-	2
	Rotterdam	1	-	-	1
Keräilyjärjestelmä	Liikenneasemat	1	-	-	1

### 6.1.1 Vuodot ja muut poikkeamat Porvoon jalostamolla

Porvoon jalostamon tapaukset jakautuivat säiliöalueelle, tuotantolinjoille 2 ja 4, satamaan sekä jätevesilaitoksen alueelle. Näiden lisäksi kaksi tapausta on kategorioitu muuhun sijaintiin jalostamolla. Seuraavissa alaluvuissa on kuvattu nämä tapaukset niiden ilmenemispaidan mukaan. Sataman tapaukset sijoittuvat öljynjalostusprosessin elinkaaren alku- ja loppupäähän, kun prosessin raaka-aineena toimivaa raakaöljyä otetaan vastaan tai valmiita jalostus-

tuotteita siirretään tankkereihin. Tuotantolinjojen 2 ja 4 sekä jätevesilaitoksen alueen tapaukset sijoittuvat puolestaan itse jalostusprosessiin, joka koostuu erilaisista välivaiheista. Näiden tapausten erittely yksittäisiin prosessivaiheisiin on kuitenkin saatavilla olevien tietojen puitteissa haastavaa. Säiliöalueella sattuneet tapaukset sijoittuvat suurimmaksi osaksi valmiiden tuotteiden varastointivaiheeseen vuotaneiden aineiden perusteella. Yhdessä tapauksessa vuotanut aine on ollut raakaöljyä, joten se sijoittuu elinkaaren alkupäähän, raakaöljyn varastointiin. Kaikki Porvoon jalostamolla esiintyneet tapaukset on kirjattu taulukkoon 3.

**Taulukko 3.** Nesteen Porvoon jalostamolla esiintyvät tapaukset.

Taustalla oleva syy [laitteisto/toiminta]	Sijainti Porvoon jalostamolla					
	Satama	Tuotantolinja 2	Tuotantolinja 4	Jätevesilaitoksen alue	Säiliöalue	Muu sijainti
Laitteisto	5	5	-	2	4	1
Toiminta	1	-	1	-	4	1
Molemmat	-	-	-	1	-	-
Yhteensä	6	5	1	3	8	2

### Porvoon jalostamon sataman tapaukset

Porvoon satamassa on kirjattu kuusi tapausta, joista neljä on seurausta lastaushöyryjen talteenottoyksikön (VRU) vioista. Näistä kolme tapausta on sattunut noin kahden kuukauden ajanjaksolla, kun VRU-yksikkö on ajanut itsensä häiriötilaan. VRU-yksikön toimintaan liittyvät viat ovat seurausta laitteiston viasta. Lisäksi satamassa on sattunut laitteistoviasta johtunut OW-putken (Oily Water) vuoto sekä merenpohjan ruoppaus, jota ei ole suoritettu oikean toimintamallin mukaan. Ruopattu maa-aines on osoittautunut öljyllä pilaantuneeksi ja ilmoitus ruoppauksesta on tehty ELY-keskukselle (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) jälkikäteen.

### Porvoon jalostamon tuotantolinja 2:n tapaukset

Tuotantolinjalla 2 on esiintynyt viisi tapausta, joista kaksi liittyy hapanvesiyksikön toimintaan. Näiden seurauksena on ollut rikintalteenottoyksiköiden (RTO) lukkiutuminen tai alaspajo. Lisäksi yhdessä tapauksessa varasähkönsyöttöyksikön vikaantuminen on aiheuttanut RTO:den lukkiutumisen. Kaksi muuta tapausta liittyvät hylkylinjan tukkeutumiseen sekä

OW-kaivon ylitulvintaan. Näihin tapauksiin liittyy päästöjä maaperään. Kaikki tuotantolinja 2:n tapaukset ovat luokiteltavissa laitteistoviasta aiheutuneiksi.

### **Porvoon jalostamon tuotantolinja 4:n tapaukset**

Tuotantolinjalla 4 on esiintynyt ainoastaan yksi tapaus. Tämä on vääränlaisesta toiminnasta aiheutunut vuoto, joka on syntynyt liitännätöyön yhteydessä. Linjaan tehtävän liitännän yhteydessä on lämmitetty putkea väärästä päästä, jolloin jäädytetty tulppa on antanut periksi aiheuttaen vuodon. Vuoto on aiheuttanut ennen sen korjausta päästöjä maaperään. Tuotantolinjalla 4 ei esiinny lainkaan laitteiston viasta aiheutuvia vuotoja tai poikkeamia, mikä on hyvä merkki. Esimerkiksi tuotantolinja 2:een verrattuna sen toiminta onkin huomattavasti luotettavampaa, mikä voi toisaalta johtua siitä, että kyseessä on uudempi tuotantolinja.

### **Porvoon jalostamon jätevesilaitoksen alueen tapaukset**

Jätevesilaitoksen alueelle on sijoittunut kolme tapausta. Näitä kaikkia yhdistää jonkinlainen ylivuoto, mutta ne ovat tapahtuneet eri paikoissa. Vuodot ovat tapahtuneet öljyn- ja hiekanerotusaltailla, jätevesilaitoksella sekä lietekaivolla. Tapausten seurauksena on vapautunut vettä maastoon, hapetuslammikkoon sekä läheiseen puroon. Kahteen ensin mainittuun tapaukseen liittyvät voimakkaat sateet, joiden seurauksena laitteiston kapasiteetti on ylittynyt. Lietekaivon tapaukseen liittyy jätevesialtaan ylivuoto. Tapaukset ovat siis seurausta laitteiston puutteista tai vioista, ja näistä ensin mainittuun liittyy myös toiminta.

### **Porvoon jalostamon säiliöalueen tapaukset**

Säiliöalueelle sijoittuu yhteensä kahdeksan tapahtumaa, joista viisi on paikannettu pumppaamoille. Nämä tapaukset ovat sattuneet eri pumppaamoilla. Pumppaamojen tapauksista kolme on seurausta toiminnasta ja kaksi laitteiston viasta. Kaikkiin tapauksiin liittyy joko prosessiraaka-aineiden, -tuotteiden tai -kemikaalien vapautumista ympäristöön. Säiliöalueella on lisäksi kolme tapausta, jotka sijoittuvat eri paikkoihin. Nämä ovat kaikki vuotoja, joista kaksi on seurausta laitteiston viasta ja yksi toiminnasta.

## **Muut Porvoon jalostamolla esiintyvät tapaukset**

Porvoon jalostamolle on kirjattu myös kaksi tapausta, joita ei voi sijoittaa suoraan millekään tuotantolinjalle tai muulle paikalle. Toiseen tapaukseen liittyy viallinen typen oksidien mitaus. Mittalaitteen vikaantumisen on aiheuttanut näytteenoton mutterin tiivisteen vuoto. Tämä vuoto on havaittu vasta, kun uutta laitetta on toimitettu. Kyse on siis periaatteessa laitteistoviasta, mutta huolellisemmalla laitteen tarkastamisella vika oltaisiin saatu selville nopeammin. Toinen tapaus koskee lietekuljetusta Porvoosta Kemiin. Lietettä kuljettanut rekka on mennyt nurin Askolassa, kun se on väistänyt tiellä ollutta koiraa. Tapauksen jälkeen ympäristö on siivottu lietteestä ja pilaantunut maa-aines on kerätty talteen. Tapauksen syynä voi pitää kuskin toimintaa tilanteessa, mutta tämä on ollut seurausta vaaratilanteesta.

### **6.1.2 Vuodot ja muut poikkeamat Naantalın jalostamolla**

Naantalın jalostamolla esiintyy yhteensä seitsemän tapausta. Näistä kaksi sijoittuu säiliöalueelle ja muut ovat erilaisia tapauksia, jotka esiintyvät eri puolilla jalostamo. Seuraavat alaluvut käsittelevät näitä tapauksia. Säiliöalueen tapaukset sijoittuvat öljynjalostusprosessin elinkaaren loppupäähän, kun valmiita tuotteita varastoidaan ennen jakelua. Muut tapaukset sijoittuvat itse jalostusprosessiin ja mukana on myös kaksi puutteellista ilmoitusta tai raportointia.

#### **Naantalın jalostamon säiliöalueen tapaukset**

Molemmat tapaukset ovat vuotoja, mutta ne ovat tapahtuneet eri paikoissa. Näistä ensimmäinen on tapahtunut purkaessa kondensaattia säiliöön, jolloin laippa on alkanut vuotamaan kondensaattia. Toinen vuoto on puolestaan esiintynyt yksikön lisäsyöttölinjassa, kun välipumpun tiivistelmä on pettänyt. Vuodossa on vapautunut kentälle bensiiniä. Molemmissa tapauksissa on kyseessä laitteiston viasta aiheutunut vuoto. Toiminnalla ei ole siis ollut osuutta näihin vuotoihin.

## **Muut Naantalın jalostamolla esiintyvät tapaukset**

Loput viisi tapausta Naantalın jalostamolla liittyvät puutteelliseen raportointiin tai ilmoittamiseen, korkeisiin rikkivetypitoisuuksiin, kaasujen talteenottoyksikön kompressorin hajoamiseen sekä vialliseen kuljetukseen. Kahdessa puutteellisen raportoinnin tai ilmoittamisen tapauksessa taustalla on ollut toiminta. Polttokaasuissa analysoidut rikkivetypitoisuudet ovat olleet korkeat noin kolmen kuukauden ajan vuoden 2016 alussa. Rikkidioksidipitoisuudet jalostamon ympäristössä eivät ole olleet terveydelle haitallisella tasolla, mutta ylimääräisiä päästöjä normaaliin toimintaan verrattuna on ollut noin 400 tonnia. Tämä on ollut seurausta sekä laitteistosta että toiminnasta. Kaasujen talteenottoyksikön kompressorin hajoamisessa kyseessä on laitteistovika, jonka seurauksena syöttötasoja on jouduttu laskemaan päästöjen vähentämiseksi. Viallisessa kuljetuksessa väärin kiristetty kuormaliina on rikkonut säiliön, josta on vuotanut prosessiaineita. Nämä viisi tapausta eivät liity toisiinsa ja niissä esiintyy yksi laitteistosta ja neljä toiminnasta aiheutuvaa tapausta.

### **6.1.3 Vuodot ja muut poikkeamat Nesteen liikenneasemilla**

Nesteen liikenneasemille sijoittuvat tapaukset ovat eripuolilla Suomea sijaitsevilla liikenneasemilla tapahtuneita poikkeamatilanteita. Yksi tapauksista on sijoittunut liikenneasemalle Riikaan. Tapaukset ovat pääsääntöisesti vuotoja, joista kolmessa syynä on ollut laitteiston vika ja neljässä väärä toiminta. Yhdessä tapauksessa purkuliittimen huolimaton käsittely johti bensiinivuotoon pohjavesialueella, joten tapaukseen liittyy merkittäviä riskejä. Liikenneasemien tapaukset ovat yksittäistapauksia, jotka eivät liity toisiinsa. Kaikki tapaukset ovat sattuneet eri liikenneasemilla.

### **6.1.4 Vuodot ja muut poikkeamat Rotterdamın jalostamolla**

Rotterdamın jalostamolla on sattunut kolme tapausta. Ne ovat erillisiä tapauksia, jotka ovat sattuneet eri puolilla jalostamoita. Näihin kuuluu varoventtiilin aukeaminen, joka on johtanut

maakuorman vapautumiseen, IBC-kontin (Intermediate Bulk Container) vääränlainen käsittely sekä dieselveuoto ilmanpoistiventtiilin läpi kentälle. IBC-kontin käsittelyyn liittyvä tapaus on ollut seurausta toiminnasta ja kaksi muuta tapausta johtuvat laitteiston vioista.

### 6.1.5 Vuodot ja muut poikkeamat muissa sijainneissa

Ulkomaille on kirjattu kaksi tapausta, jotka eivät ole Nestein jalostamoiden yhteydessä. Toinen on kirjattu Geneveen ja toinen Riikaan. Geneven tapauksessa on kyse asiakirjojen puutteista jätekuljetukseen liittyen. Asiakirjat eivät ole vastanneet Hollannin vaatimuksia. Taustalla on siis selvästi ollut toiminta, kun kuljetusta suunniteltaessa ei ole huomioitu molempien maiden vaatimuksia. Riikan tapaukseen liittyy dieselpäästö ympäristöön rekan lastauksen yhteydessä. Tässä taustalla on ollut laitteiston vika.

## 6.2 Nestein jalostamoilta ja niiden läheisyydestä kootut ilmoitukset

Nesteelle on vuosien 2016–2018 välillä tullut erilaisia ilmoituskanavia pitkin ilmoituksia koskien jalostamoiden aiheuttamia haju- ja meluhaittoja. Näitä ilmoituskanavia ovat muun muassa puhelinsoitot, viestit, sähköposti sekä jalostamoiden toimintaa käsittelevät verkkosivut. Suurin osa ilmoituksista on yksityisiltä henkilöiltä, jotka asuvat Nestein jalostamoiden läheisyydessä. Lisäksi mukana on esimerkiksi ELY-keskuksen yhteydenottoja koskien yksityisten henkilöiden tekemiä ilmoituksia. Tapauksia on kokonaisuudessaan 168 ja näistä suurin osa sijoittuu Naantaliin ja Porvooseen. Jalostamoiden läheisyydestä tehdyt ilmoitukset on koottu taulukkoon 4.

**Taulukko 4.** Nestein toimintaa koskevat ilmoitukset.

Ilmoituksen syy	Sijainti		
	Porvoo	Naantali	Muu sijainti
Hajuhaitta	38	69	1
Meluhaitta	24	5	-
Haju- ja meluhaitta	2	-	-
Muu	15	8	6
Yhteensä	79	82	7

Kuten edellä mainittiin, suurin osa tapauksista sijoittuu Naantaliin ja Porvooseen. Naantaliin on kirjattu 82 tapausta ja Porvooseen 79 tapausta. Naantalissa selkeitä hajuhaittailmoituksia on 69 ja meluhaittailmoituksia 5. Hajuhaittailmoitukseen liittyen 13:ssa tapauksessa on käyty paikan päällä tarkistamassa tilanne, ja näistä viidessä tapauksessa on todettu esiintyvän ainakin jonkinasteisia hajuja. Lopuissa tapauksissa hajuja ei ole havaittu tarkastuksen yhteydessä. Lisäksi muita ilmoituksia on yhteensä 9, ja näihin kuuluu kaksi tiedustelua soihdutuksesta sekä erilaisia kyselyitä esimerkiksi likaantuneista kohteista, kuten ajoneuvoista.

Porvoossa on kirjattu 38 hajuhaittatapausta, 24 meluhaittatapausta ja kaksi ilmoitusta koskien sekä haju- että meluhaittaa. Neljän hajuhaittailmoituksen kohdalla on suoritettu myös tarkastus ilmoituksen tekopaikalla, ja näistä kolmessa on havaittu jonkinlaisia hajuja. Muita tapauksia on yhteensä 15 ja näihin sisältyy neljä tiedustelua tai valitusta soihdutuksesta. Lisäksi näihin tapauksiin kuuluu neljä ilmoitusta nokeentuneista kohteista, kuten ajoneuvoista, ja erilaisia kyselyitä esimerkiksi sataman liikenteestä.

Taulukkoon on listattu vielä seitsemän tapausta, jotka sijoittuvat hajanaisesti eri paikkoihin. Nämä ovat satunnaisia tapauksia, joista osa on Nesteen sisäisiä ilmoituksia esimerkiksi Internet-yhteyden ongelmista. Kaiken kaikkiaan hajuvalitusten pohjalta on vaikea tehdä suuria johtopäätöksiä siitä, ovatko kaikki tapaukset jalostamoiden aiheuttamia. Muutamissa tapauksissa on havaittavissa looginen syy hajuun, kuten jäteveden käsittelyn häiriö. Monissa tapauksissa on kuvattu ilmassa esiintyneen rikin tai öljyn hajua, mikä viittaa hyvin vahvasti jalostamon toimintaan. Jalostamoiden lähistöllä ilmenevät hajuhaitat voidaan kuitenkin helposti yhdistää jalostamoon, vaikka ne eivät olisi sieltä lähtöisin. Ilmoitusten pohjalta voidaan havaita, että Porvoon jalostamon läheisyydessä melu on koettu huomattavasti suuremmaksi haitaksi kuin Naantalin jalostamon läheisyydessä, jossa hajuhaitan vuoksi tehtyjä ilmoituksia on selvästi enemmän.

## **6.3 Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien vuotoja ja muita poikkeamia**

Tässä osiossa käsitellään HSE-datan pohjalta tehtyä analyysia ja toimenpide-ehdotuksia. Analyysin ja toimenpide-ehdotusten muodostamisessa on hyödynnetty aiemmin kerättyä tietoa koskien vuotojen ja muiden poikkeamien esiintymistä eri sijainneissa sekä niiden taustalla olevia syitä.

### **6.3.1 Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien Porvoon jalostamoa**

Porvoon jalostamolla eniten tapauksia sijoittuu säiliöalueelle. Kahdeksasta säiliöalueen tapauksesta viisi on paikannettu pumppaamoille, joten niiden toimintaan tulee kiinnittää huomiota. Kaikki viisi tapausta ovat vuotoja ja kohdistuvat eri pumppaamoille, joten ei voida nostaa esille vain yksittäistä pumppaamoa, johon tulisi keskittyä. Näiden joukossa on sekä toiminnasta että laitteistosta aiheutuvia vuotoja. Näin ollen on syytä tarkkailla laitteiston kuntoa sekä varmistaa operaattoreiden ja muiden toimijoiden kattava koulutus. Kolmessa toiminnasta aiheutuvassa vuodossa on havaittavissa selkeä operointivirhe, joka voitaisiin ehkäistä huolellisuudella tai paremmalla ohjeistuksella. Yhdessä operointivirheessä on toimijoina urakoitsijoita, joiden potentiaalinen tietojen ja ohjeiden puute on olemassa. Kahdessa laitteistosta aiheutuneessa tapauksessa on kyseessä putkirikko ja vuoto eristeiden välistä. Nämä tapaukset voivat liittyä putkiston kulumiseen iän ja käytön myötä. Ne ovat siis enemmänkin yksittäistapauksia, joiden pohjalta ei voi tehdä muita johtopäätöksiä kuin sen, että säiliöalueella on hyvä kiinnittää huomiota prosessilaitteiston kuntoon vähintään silmämääräisesti. Säiliöalueella on sattunut pumppaamojen tapausten lisäksi kolme tapausta, jotka sijoittuvat eri paikkoihin. Näistä kaksi on laitteiston rikosta aiheutuneita vuotoja ja yksi toiminnasta aiheutunut päästö. Kaikkiin liittyy jonkin prosessin lopputuotteen vapautuminen maaperään, mutta muuten niillä ei ole yhdistäviä tekijöitä.

Seuraavaksi eniten tapauksia Porvoon jalostamolla on sattunut satamassa. Tapauksia on yhteensä kuusi, joista neljä liittyy VRU-yksikön toimintaan. Nämä kaikki ovat laitteiston viikoja, joten VRU-yksikön kuntoon tulee kiinnittää huomiota. Lisäksi kolme tapauksista on



sattunut noin kahden kuukauden sisällä toisistaan. On mahdollista, että kolme tiheään tapahtunutta tapausta ovat yhteydessä toisiinsa. Tällöin yksittäisen vika- tai häiriötilan selvittämistä tulee korostaa. Tapauksista on aiheutunut päästöjä lastaushöyryjen muodossa, kun lastaukset on suoritettu VRU-yksikön ohi. Satamassa on lisäksi sattunut putkivuoto, joka vaikuttaa yksittäistapaukselta, sekä merenpohjan ruoppaus ilman vaadittua ennakoilmoitusta ELY-keskukselle. Ruoppaukseen liittyen taustalla on selvästi toiminta, kun tiedon kulku ei ole sujunut halutulla tavalla. Asiasta on kuitenkin raportoitu jälkikäteen, joten virhe on tunnistettu ja korjattu. Kokonaisuudessaan sataman tapaukset ovat yhtä lukuun ottamatta laitteistosta aiheutuneita. Satamassa ei kuitenkaan vaikuttaisi ilmenevän suuria ongelmia laitteiston suhteen VRU-yksikön lisäksi.

Porvoon jalostamon tuotantolinjalla 2 on esiintynyt viisi tapausta, jotka ovat kaikki laitteiston viasta aiheutuneita, joten päähuomio kiinnittyy laitteiston kuntoon. Kolmessa tapauksessa seurauksena on ollut RTO-laitosten lukkiutuminen tai alasajo, mikä on johtanut päästöihin ilmaan. Näissä kolmessa tapauksessa syy RTO-laitosten alasajoon tai lukkiutumiseen on ollut eri, mutta kahdessa taustalla on ollut saman hapanvesiyksikön toiminta. Nämä tapaukset ovat sattuneet noin viikon sisällä toisistaan. Tapauksiin liittyen olisi hyvä tutkia niiden välisiä yhteyksiä, mahdollisten yhdistävien tekijöiden löytämiseksi, ja vastaavien tapauksien välttämiseksi tulevaisuudessa. Loput kaksi tapausta ovat hylkylinjan tukkeutuminen ja OW-kaivon ylitulvinta. Nämä ovat jälleen yksittäistapauksia, jotka eivät ole yhteydessä toisiinsa tai aiemmin mainittuihin RTO-laitosten tapauksiin. Hylkylinja on ensin tukkeutunut ja myöhemmin aiheuttanut vuodon. Kaivon ylitulvinta on liittynyt rankkasateisiin, jolloin sen kapasiteetti on ylittynyt. Näin ollen vastaavien tapauksien ehkäisemiseksi, tulee kaivon mitoitus arvioida uudelleen.

Tuotantolinja 4:llä on kirjattu vain yksi tapaus, joka on liitännätöiden yhteydessä tapahtunut vuoto. Kuvauksen perusteella kyseessä on selvästi operointivirhe, joka on voinut johtua huolimattomuudesta tai tiedon puutteesta. Kokonaisuudessaan tuotantolinjan toiminta on hyvällä tasolla ja prosessilaitteiston kunto ja laatu vaikuttaisi olevan tapausten lukumäärän perusteella erinomainen.

Jätevesilaitoksen alueella on sattunut kolme tapausta, joilla on paljon yhtäläisyyksiä. Ne ovat sattuneet eri paikoissa, mutta niihin kaikkiin liittyy ylitulvinta. Kahdessa tapauksessa syynä on voimakkaat sateet, joiden seurauksena öljyistä vettä on jouduttu ajamaan tai sitä on ajautunut maastoon. Toisessa tapauksessa kiinni ollut pumppulinja on ennestään pahentanut tilannetta. Tapaukset ovat laitteistosta aiheutuneita siinä määrin, että tulvintakohteiden kapasiteetti ei ole kestänyt esimerkiksi voimakkaita sateita. Pumppulinjan kiinniolo on ollut seurausta väärästä toiminnasta. Näin ollen huomio tulee kiinnittää laitteistoon, jossa tulee keskittyä jätevesille varattujen altain kokoon ja pumppauskapasiteettiin. Porvoon jalostamon jätevesilaitosta uudistetaan parhaillaan, mikä osaltaan helpottaa mainittuja kapasiteettiongelmiä. Pumppulinjan kiinniolo on yksittäistapaus, jonka välttämiseksi jatkossa tulee korostaa huolellisuutta ja pyrkiä varmistamaan, ettei linja voi jäädä vahingossa kiinni.

Kokonaisuudessaan Porvoon jalostamon 25 tapauksesta kahdeksassa on taustalla väärä toiminta ja lopuissa laitteiston vika. Vuodot ja poikkeamat ovat siis enimmäkseen laitteiston vikojen ja häiriöiden syytä. Näiden vähentämiseksi tulee keskittyä laitteiston huoltoon ja mahdollisesti uusimiseen. Säiliöalueen pumppaamot ja sataman VRU-yksikkö nousivat esille suurimpina yksittäisinä kohteina, jotka vaativat arviointia. Yksittäistapauksia esiintyi jonkin verran, mutta niiden osalta on vaikea tehdä kehitysehdotuksia. Ne voivat johtua inhimillisestä virheestä tai prosessin hetkellisestä häiriötilasta, ja ne toimivatkin lähinnä varoitavina esimerkkeinä tulevaisuutta varten. Niiden pohjalta on kuitenkin mahdollista oppia uutta, ja välttää erityisesti vääränlainen operointi jatkossa keskittymällä kattavaan ohjeistukseen ja valvontaan. Kahdeksan tapausta, joiden taustalla on toiminta, eivät ole suorassa yhteydessä toisiinsa. Ohjeistuksen ja koulutuksen kautta on mahdollista antaa operaattoreille hyvät valmiudet ehkäistä erilaisia poikkeamatilanteita, mutta yksittäisen työntekijän huolellisuuteen ei kaikissa tilanteissa voida vaikuttaa. Myös urakoitsijoiden ja muiden ulkopuolelta tulevien toimijoiden tulisi saada riittävä ohjeistus työhön liittyviin turvallisuusseikkoihin.

Taulukosta 3 käy ilmi, että suurin osa Porvoon jalostamolla sattuneiden vuotojen tai poikkeamien aiheuttamista päästöistä kohdistuu maaperään. 25 tapauksesta jopa 23:een liittyy päästöjä, ja näistä 14:ssä päästökohde on maaperä. Maaperän puhdistaminen jalostamon toiminnan aikana voi olla haastavaa, koska puhdistusmenetelmät vaativat usein suurien määrien siirtelyä. Näin ollen tärkeintä on keskittyä ehkäisemään päästön vapautuminen

maaperään. Ensisijainen vaihtoehto on vuodon tai muun poikkeaman estäminen, mutta tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista. Tällöin huomio tulisi keskittää tekniikkaan ja toimenpiteisiin, joilla ehkäistään päästön kulkeutuminen maaperään vuodon sattuessa. Vaihtoehtoina voisi olla esimerkiksi erilaiset pinnoitteet maaperän päällä, jotka pystyisivät tiettyyn rajaan asti pidättämään öljyn tai vastaavaan aineen pääsyn maaperään. Näitä pinnoitteita voisi käyttää jalostamolla sellaisilla alueilla, joissa vuotoja on sattunut useammin. Tämä toisi lisää aikaa vuodon paikantamiselle ja toimenpiteille sen korjaamiseksi. Pinnoitteeksi tulisi valita aine, jota öljy ei läpäise, ja katetulle alueelle tulisi olla keräilyä varten viemäri ja sopiva kaato. Jos prosessissa on havaittavissa linjoja, jotka ovat alttiita vuodoille, voitaisiin tällaisia linjoja kattaa varalinjoilla. Jos päälinjaan tulee vuoto, joka havaitaan, voitaisiin se sulkea ja johtaa linjan sisältämä aine eteenpäin prosessissa toista reittiä pitkin.

### **6.3.2 Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien Naantalın jalostamoa**

Naantalın jalostamon seitsemästä tapauksesta kaksi on sattunut säiliöalueella. Vaikka tapauksia onkin vähemmän kuin Porvoon jalostamolla, esiintyy säiliöalueella jalostamon kohteista niitä eniten. Naantalın säiliöalueen tapaukset kuitenkin eroavat Porvoon vastaavista siinä mielessä, että ne eivät ole pumpaamoilla sattuneita. Kyseessä on laipan vuoto ja tiivisteiden peittäminen, josta on seurannut vuoto. Tapaukset ovat sattuneet eri sijainneissa, ja molemmissa on taustalla laitteiston vika. Niiden taustalla voi olla prosessin aiheuttama rasitus ja kuluminen, koska Naantalın jalostamo on jo 60 vuotta vanha. Vastaavien tapauksien ehkäisemiseksi jatkossa tulee kiinnittää huomiota laitteiston kuntoon.

Muut Naantalın jalostamon viisi tapaus ovat sijoittuneet jalostamon eri osiin ja niissä on pääsääntöisesti taustalla väärä toimintamalli. Esimerkiksi meluilmoituksen ja jätevesiraportin unohtaminen sekä väärin kiinnitetty kuormaliina ovat selvästi huolimattomuudesta johtuneita tapauksia. Tapauksien taustalla voi olla esimerkiksi kiire, jolloin raporttien teko unohtuu tai kuormaliinan kiinnitys tehdään liian nopeasti ja huolimattomasti. Näiden tapaus-ten ehkäiseminen vaatii huolellisuuden ja laadun korostamista, vaikka aikataulu olisi tiukka ja tehtävää paljon. Raporttien teosta on myös hyvä siirtää vastuuta useammalle taholle, jolloin yhden henkilön inhimillinen unohtus ei ole yhtä suuressa roolissa. Jalostamolla on il-

mennyt myös tapaus, jossa polttokaasujen rikkivetypitoisuudet ovat nousseet tavallista korkeammiksi. Tähän syynä on ollut väärä operointitapa, joka on liannut laitteen. Tämän jälkeen asiaan ei olla reagoitu riittävän nopeasti. Tapauksen taustalla voi olla tiedon puute. Operointimalli on ollut väärä, ja tämän jälkeen reagointi hälytyksiin ei ole ollut riittävää. Hidas reagointi hälytyksiin voi johtua esimerkiksi vikahälytyksistä, jolloin reagointikyky aiheellisiin hälytyksiin heikkenee. Kaikkien hälytysten tarkastamista tulee korostaa ja samalla tulkita prosessin poikkeamia, kuten kohonneita rikkivetypitoisuuksia, oikealla tavalla. Tämä vaatii operaattoreiden ammattitaitoa ja kokemusta prosessiin liittyen, jotka voidaan saavuttaa koulutuksen avulla.

Naantalissa on sattunut yhteensä seitsemän tapausta samalla ajanjaksolla kuin Porvoossa on sattunut 25. Naantalin jalostamo on huomattavasti pienempi, joten poikkeamienkin määrä on vähäisempi. Porvoon jalostamosta poiketen Naantalissa väärä toimintamalli on taustalla useammassa tapauksessa kuin laitteistovika. Tässä on melko suuri ero suhteessa Porvooseen, jossa laitteiston viat ovat aiheuttaneet selvästi suurimman osan tapauksista. Porvoon jalostamosta poiketen Naantalissa ei esiinny myöskään toistuvia tai sijainniltaan yhtenäisiä tapauksia. Tapauksia voidaan pitää ilman syvempää tarkastelua toisiinsa liittymättöminä, ja niiden perusteella on vaikea kohdistaa huomiota ja tarkastelua tiettyihin toimintoihin tai yksiköihin.

### **6.3.3 Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien liikenneasemia**

Nesteen liikenneasemilla sattuneista seitsemästä tapauksesta neljässä taustalla on vääränlainen toiminta. Vain yhdessä tapauksessa vääränlainen toimintamalli on ollut asiakkaan huolimattomuutta, kun viallista pumppua on käytetty varoituksesta huolimatta. Asiakkaiden toiminta laitteiston kanssa ei siis tutkitun aineiston pohjalta vaadi suurempaa tarkastelua. Muissa toiminnasta aiheutuvissa tapauksissa on voinut olla mukana huolimattomuustekijä, kun liitintä on käännetty väärään suuntaan tai auton keräyssäiliö ja jakeluaseman säiliö ovat ylitäytyneet. Säiliöiden täyttöön liittyen on todennäköisesti olemassa tekniikkaa, jonka tehtävänä on valvoa täyttöä ja ilmoittaa mahdollisesta ylitäytön vaarasta. Jos tällaista tekniikkaa ei ole, voi siihen investoida ja lisäksi korostaa työntekijöiden huolellisuutta tehtävässään. Laitteistovian aiheuttamat tapaukset ovat olleet erillisiä eikä niillä ole yhdistäviä tekijöitä. Tiivisteen pettäminen viittaa laitteiston kulumiseen, joka voi olla seurausta tasaisesta iän

mukana tulleesta rasituksesta. Ylitäytön estojärjestelmän pettäminen vian vuoksi on tapaus, jonka voisi ehkäistä toimivan varajärjestelmän avulla. Tämä varajärjestelmä käynnistyisi, jos ylitäytön estojärjestelmälle sattuisi jotain. Toisaalta kyseessä on vain yksittäinen tapaus, joten aineistosta ei ole havaittavissa selkeää toistuvuutta.

Taulukosta 3 on luettavissa, että liikenneasemilla sattuneissa vuodoissa ja poikkeamissa päästökohteena toimii pääsääntöisesti maaperä tai laatta. Yhdessä tapauksessa päästö on vapautunut keräilyjärjestelmään. Nämä päästöt ovat kooltaan pieniä, mutta niiden sijainti voi nostaa päästön vaarallisuutta. Esimerkiksi pohjavesialueella tapahtuvaan päästöön tulee suhtautua vakavasti. Liikenneasemien asiakkailta on osaltaan vastuu muun muassa tankkaukseen tarkoitetun pistoolin käytöstä, mutta erilaisia vuotoja voidaan ehkäistä laitteiston huollolla. Liikenneasemilla käytettävät laatat ja muut maaperän päällä olevat pinnoitteet on todennäköisesti suunniteltu öljytuotteita läpäisemättömiksi.

#### **6.3.4 Analyysi ja toimenpide-ehdotukset koskien Rotterdamin jalostamo**

Rotterdamin jalostamo eroaa Porvoon ja Naantalin jalostamoista, koska kyseessä on uusiutuvan dieselin valmistukseen keskittyvä jalostamo. Kolmen tarkasteluvuoden aikana sinne on sijoittunut vain kolme tapausta. Näistä kaksi on laitteiston viasta aiheutuneita ja yhdessä taustalla on väärä toimintamalli. Laitteiston vioissa kyse on ollut venttiilien vaurioista, jotka sijoittuvat kuitenkin eri osiin prosessia. Varoventtiilin laukeaminen on johtanut maakuljetuksen vapautumiseen ja ilmanpoistovenktiilin kautta on aiheutunut vuoto kentälle. Kaksi laitteistovikaa kolmessa vuodessa kertoo siitä, että laitteisto on yleisesti ottaen hyvässä kunnossa. Kyseisten vuotojen ehkäisemiseksi olisi voinut mahdollisesti huoltaa laitteistoa paremmin, mutta niiden pohjalta on turha lähteä tekemään liian suuria johtopäätöksiä. Toimintovirheetkin rajautuvat ainoastaan yhteen tapaukseen, jossa IBC-kontin väärä käsittely on johtanut vuotoon. Kuvauksesta selviää, että konttia käsitellään yleensä eri tavalla, joten kyseessä on nimenomaan yksittäistapaus. Vastaavien tapauksien ehkäisemiseksi jatkossa tulee korostaa oikeita toimintamalleja ja myös valvoa niiden toteuttamista. Kyseinen tapaus oltaisiin mahdollisesti voitu ehkäistä esimerkiksi esimiehen valvonnan avulla.

## 7 YHTEENVETO

Öljyn ja uusiutuvan dieselin jalostusprosessin elinkaari koostuu useista vaiheista, joihin kuuluu raaka-aineiden vastaanottoa ja jakelua, varastointia sekä erilaisia jalostusprosessin vaiheita. Raaka-aineiden kuljetus tapahtuu pitkälti meriteitse tankkereilla, mutta myös muut kuljetusmuodot, kuten kuljetus rautateitse tai putkea pitkin, ovat jalostamon sijainnin mukaan mahdollisia. Öljynjalostusprosessi muodostuu suolanpoistosta, tislauksesta, krakkauksesta, reformoinnista, alkyloinnista, rikinpoistosta, oksygenaattien valmistuksesta ja aromaattisesta hydrauksesta. Lopputuotteena saadaan muun muassa nestekaasua, moottoribensiiniä, petroleja, dieselöljyä, kevyttä polttoöljyä, raskasta polttoöljyä ja bitumia. Uusiutuvan dieselin jalostusprosessiin kuuluu raaka-aineiden esikäsitteleminen ja vetykäsitteleminen, jolloin lopputuotteena saadaan uusiutuvaa dieseliä. Molempien prosessien lopputuotteet varastoidaan ja johdetaan loppukäyttäjille sopivaa kuljetusmuotoa käyttäen.

Jalostustoimintaan liittyy erilaisia päästöjä, jotka voivat kohdistua ilmaan, maaperään tai veteen. Uusiutuvan dieselin jalostuksen merkittävin päästö on energiantuotannossa syntyvä hiilidioksidi. Öljynjalostukseen liittyy enemmän päästöjä ilmaan esimerkiksi hiilidioksidin, hiilimonoksidin, rikin ja typen oksidien, hiukkasten ja VOC-päästöjen muodossa. Näitä päästöjä syntyy jalostusprosessin elinkaaren eri vaiheissa, mutta suurin osa niistä sijoittuu itse jalostusprosessiin ja sen vaatimaan energiantuotantoon. Ilmaan voi aiheutua myös hajupäästöjä muun muassa rikkivetyjen muodossa. Öljynjalostuksesta voi syntyä päästöjä myös maaperään esimerkiksi vuotojen seurauksena. Nämä päästöt voivat olla prosessin raaka-aineita, valmiita tuotteita tai öljyistä jäteveettä. Päästöt veteen voivat pitää sisällään öljyä, raskasmetalleja tai ravinteita. Puhdistettu jätevesi voi sisältää pieniä määriä edellä mainittuja aineita.

Jalostusprosessin turvallisuuden parantamiseksi ja häiriötilanteiden ehkäisemiseksi voidaan hyödyntää erilaisia menetelmiä, joihin kuuluu puumenetelmät eli vika- ja tapahtumapuuanalyysi, poikkeamatarkastelu HAZOP sekä toimintovirheanalyysi. Näillä menetelmillä voidaan kehittää prosessin turvallisuutta jo sen suunnitteluvaiheessa, mutta ne sopivat myös laitoksen käytön aikaiseen kehittämiseen ja arviointiin. ISO 14001-standardin mukaan orga-

nisaation tulee varautua erilaisiin hätätilanteisiin ja määrittää normaalista poikkeavat tilanteet. Jalostusprosessissa tulee siis pyrkiä ehkäisemään erilaisia vuotoja tai poikkeamatilanteita, joista voi aiheutua myös päästöjä ympäristöön.

Neste on polttoainealan yritys, joka tuottaa uusiutuvia polttoaineita sekä raakaöljypohjaisia öljytuotteita. Öljytuotteiden valmistus tapahtuu Porvoon ja Naantalin jalostamoilla. Uusiutuvien polttoaineiden valmistus sijoittuu puolestaan Porvoon, Singaporen ja Rotterdamin jalostamoille. Työssä perehdytään näiden jalostamoiden ja Nesteen liikenneasemien vuotoihin ja muihin poikkeamatapauksiin. Tarkasteluajankohtana ovat vuodet 2016–2018, jonka aikana on tapahtunut yhteensä 44 erilaista vuotoa tai muuta viranomaisille ilmoitettua poikkeamaa. Näistä 25 sijoittuu Porvooseen, seitsemän Naantaliin, seitsemän liikenneasemille, kolme Rotterdamiin sekä kaksi muuhun sijaintiin. Lähtökohtana on luokitella nämä tapaukset sijaintinsa lisäksi syykategorioihin siten, että tunnistetaan selvästi laitteiston viasta aiheutuneet tapaukset sekä väärästä toimintamallista johtuneet tilanteet.

Työn tavoitteena oli tuottaa luokitellun tiedon perusteella analyysia ja toimenpide-ehdotuksia, joita voidaan hyödyntää vuotojen ja muiden poikkeamien ehkäisemiseksi tulevaisuudessa. Porvoon jalostamolla tapausten taustalla on enimmäkseen laitteiston viat. Tarkastelu keskittyy jalostamon tasolla erityisesti säiliöalueelle ja satamaan, joissa tapauksia esiintyy eniten. Säiliöalueella kehityskohteena ovat pumppaamot, joiden laitteiston kuntoa tulee arvioida ja satamassa huomio kiinnittyy VRU-yksikön toimintaa. Porvoon jalostamosta poiketen Naantalissa vääränlainen toiminta on useammin tapausten taustalla kuin laitteiston vika, mutta myös laitteiston kuntoon tulee kiinnittää huomiota. Naantalissa kehitettäväksi kohteeksi nousee toimintatapojen kehitys esimerkiksi häiriötilanteeseen reagoinnin osalta sekä valvonnan ja ohjeistuksen kehittäminen. Liikenneasemilla tulee keskittyä sekä oikeaan toimintatapaan että laitteiston kuntoon, koska tapausten taustalla esiintyy molempia tekijöitä. Edellä mainittuja osa-alueita voidaan kehittää lisäämällä laitteiston huoltoa sekä korostamalla työntekijöiden huolellisuutta esimerkiksi säiliöiden täytön yhteydessä. Rotterdamin jalostamon tapaukset ovat yksittäistapauksia, joiden osalta on turha tehdä liian suuria johtopäätöksiä. Työn valvonta ja laitteiston kunnon määrittäminen ovat asioita, jotka nousevat analyysin pohjalta kehitettäväksi.

## LÄHDELUETTELO

Alakangas Eija, Hurskainen Markus, Laatikainen-Luntama Jaana, Korhonen Jaana. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 229. ISBN 978-951-38-8419-2.

Dunjó Jordi, Fthenakis Vasilis, Vílchez Juan A., Arnaldos Josep. 2009. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. Teoksessa: Diana Aga, Andrew Daugulis, Gianluca Li Puma, Gerasimos Lyberatos, Joo Hwa Tay, Éder Claudio Lima, Journal of Hazardous Materials. The Journal. 19–32. ISSN 0304-3894.

Fox Malcolm F. 2016 The Marketing, Distribution and Use of Petroleum Fuels. Teoksessa: Orszulik Stefan. Environmental Technology in the Oil Industry. 2016. Grove, Iso-Britannia. 393–438. ISBN 978-3-319-24334-4.

Grist Michelle. 2016 Environmental Management and Technology in Oil Refineries. Teoksessa: Orszulik Stefan. Environmental Technology in the Oil Industry. 2016. Grove, Iso-Britannia. 375–392. ISBN 978-3-319-24334-4.

Hauptmanns Ulrich. 2015. Process and Plant Safety. Saksa. 665. ISBN 978-3-642-40954-7.

Hsu Chang Samuel, Robinson Paul R. 2017. Springer Handbook of Petroleum Technology. Sveitsi: Springer International Publishing AG. 1238. ISBN 978-3-319-49347-3.

Neste. 2018a. Tuotantoa neljässä eri maassa. [verkkosivu]. [viitattu: 9.5.2018]. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto>

Neste. 2018b. Porvoon laitokset – Euroopan kehittyneimpien joukossa. [verkkosivu]. [viitattu: 9.5.2018]. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto/jalostamot-suomessa/porvoo>



Neste. 2018c. Naantali – Laaja valikoima erikoistuotteita. [verkkosivu]. [viitattu: 9.5.2018]. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto/jalostamot-suomessa/naantali>

Neste. 2018e. Rotterdamin jalostamo. [verkkosivu]. [viitattu: 9.5.2018]. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto/rotterdamin-jalostamo>

Neste. 2018f. Singaporen jalostamo. [verkkosivu]. [viitattu: 9.5.2018]. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/tietoa-meist%C3%A4/tuotanto/singaporen-jalostamo>

Neste. 2018f. Uusiutuvien raaka-aineiden hankinta – vain vastuullinen kelpaa. [verkkosivu]. [viitattu: 7.5.2018]. Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/fi/konserni/vastuullisuus/vastuullinen-toimituksetju/raaka-aineiden-hankinta>

Nikander Sami. 2008. Greenhouse Gas and Energy Intensity of Product Chain: Case Transport Biofuel. Diplomityö. Helsinki University of Technology. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Helsinki. 112.

Riistama Kyösti, Laitinen Jorma, Vuori Merja. 2003. Suomen kemianteollisuus. Helsinki: Chemas Oy. 272. ISBN 952-9597-54-1.

SFS-EN ISO 14001. 2015. Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 84.

SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 48.

Wessberg Nina, Seppälä Jyri, Molarius Riitta, Koskela Sirkka, Pennanen Jaana, Silvo Kimmo, Kekoni Pirkko. 2006. Häiriöpäästöjen ympäristöriskianalyysi. Vammala: Suomen ympäristökeskus. 63. ISBN 952-11-2167-X.